

1.B. ANEXOS À MEMÓRIA

1.B.2 CLIMATOLOGIA, HIDROLOGIA E DRENAGEM

PROJETO DE EXECUÇÃO

REABILITAÇÃO E MELHORIA DA ESTRADA NACIONAL “EN1-SL-01-ESPARGOS-SANTA MARIA”

DOCUMENTO Nº 1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA ANEXO 1.B.2 CLIMATOLOGIA, HIDROLOGIA E DRENAGEM

ÍNDICE

1.	ENQUADRAMENTO	2
2.	TRAÇOS CLIMÁTICOS DO ENTORNO DO PROJETO	2
3.	PRECIPITAÇÃO	2
4.	METODOLOGIA (NE. 5.2. -I.C.)	4
4.1.	<i>PERÍODO DE RETORNO ADOPTADO</i>	<i>4</i>
4.2.	<i>IDENTIFICAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS</i>	<i>4</i>
4.3.	<i>DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ZONA</i>	<i>5</i>
4.4.	<i>TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO</i>	<i>5</i>
4.5.	<i>INTENSIDADES MÉDIAS HORÁRIAS</i>	<i>6</i>
4.6.	<i>COEFICIENTES DE ESCOAMENTO</i>	<i>8</i>
4.7.	<i>COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO.....</i>	<i>11</i>
4.8.	<i>CAUDAIS DE DRENAGEM.....</i>	<i>12</i>
5.	ELEMENTOS DE DRENAGEM	14
6.1.	<i>BASE DE DESENHO</i>	<i>14</i>
7.1.	<i>METODOLOGIA DE CÁLCULO</i>	<i>17</i>

1. ENQUADRAMENTO

Cabo Verde é um arquipélago de origem vulcânica, localizado no Oceano Atlântico, entre os 15 e 17 graus latitude norte, a oeste da zona de Sahel, área da savana situada entre o deserto do Saara e a África Tropical, com um clima que poderia ser definido como Seco-tropical a 500 Km de distância da costa ocidental da África, em frente do Senegal, e aproximadamente a 1600 Km das Ilhas Canárias. Geologicamente pertence ao grupo de ilhas, integrado na região da Macaronésia, juntamente com as Açores, Madeira e Canárias.

O clima do arquipélago é tropical seco, moderado pela ação do vento atlântico, caracterizado pela baixa precipitação e pela irregularidade da mesma. A época do ano em que normalmente acontecem as precipitações "a estação das chuvas" é entre os meses de julho e outubro, quando por vezes o clima torna-se desconfortável devido às elevadas temperaturas e umidade. Na outra estação entre dezembro e junho, quando os ventos alísios são frequentes, apenas as zonas de altitudes por acima dos 600 metros tendem a receber chuva de forma regular. As vertentes nordestinas das montanhas altas recebem frequentemente alguma pluviometria enquanto da vertente sudoeste não as recebem devido à “sombra pluviométrica”. A chuva normalmente, quando cai o faz com muita intensidade, sendo que, a metade da chuva do ano geralmente cai em uma única tempestade. As ilhas com topografia acidentada e montanhosa como Santo Antão, São Nicolau, Santiago, Fogo e Brava, em última análise, são as que se beneficiam de uma maior precipitação. A temperatura é praticamente uniforme ao longo do ano, com medias diárias a variar entre 21.3 graus Celsius em fevereiro, no mês mais fresco e, 27.2 graus Celsius em setembro, no mês mais quente tendo uma média anual de 26 graus Celsius.

2. TRAÇOS CLIMÁTICOS DO ENTORNO DO PROJETO

Quanto ao clima local, este não apresenta nenhuma caracterização especial a referir, que não tinha sido exposta na descrição climatologia geral descrita, ou seja, um clima quente e seco, com chuvas escassas e irregulares entre os meses de agosto e outubro. Devido à escassa cobertura vegetal, a capacidade de retenção da água é limitada, exceto nos terrenos arenosos.

3. PRECIPITAÇÃO

Os dados de partida da precipitação apontam para uma precipitação total anual inferiores a 100,00 mm sendo o mês de setembro com a maior probabilidade da queda de

PROJETO DE EXECUÇÃO PARA REABILITAÇÃO E MELHORIA DA ESTRADA NACIONAL “EN1-SL-01-ESPARGOS-SANTA MARIA”

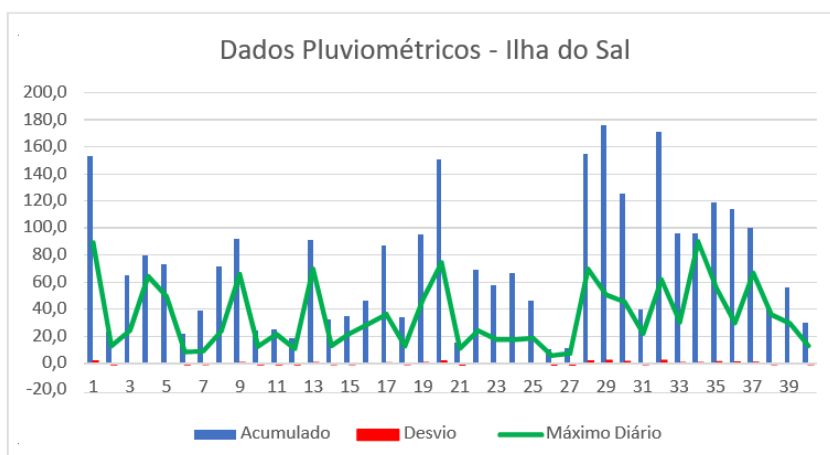
precipitação numa ilha onde é habitual não chover de novembro a julho. No quadro que se segue é apresentado os dados fornecidos pela INMG de forma resumida com a quantidade máxima de chuva ocorrida em um dia para cada ano de informação existente. Pela carência de séries pluviométricas de estações meteorológicas ao longo do corredor que teriam permitido fazer um ajuste estadístico tipo Gumbell ou semelhante, e assim determinar as isoietas que abarcariam todas as bacias consideradas, adota-se para efeitos de cálculo, a precipitação máxima diária para todas as bacias, sendo o valor adotados os valores da estação do aeroporto.

Anos	Acumulado	Desvio	Máximo Diário
1981	153,0	1,750	89,0
1982	23,3	-1,031	13,0
1983	64,8	-0,141	24,3
1984	79,5	0,174	64,3
1985	73,5	0,045	49,4
1986	21,6	-1,068	8,3
1987	39,0	-0,695	9,0
1988	71,8	0,009	23,9
1989	92,4	0,450	66,0
1990	24,6	-1,004	12,6
1991	25,0	-0,995	21,5
1992	18,8	-1,128	10,9
1993	91,2	0,425	69,7
1994	32,8	-0,828	13,1
1995	34,9	-0,783	22,1
1996	46,4	-0,536	29,0
1997	86,8	0,330	36,2
1998	33,7	-0,808	12,7
1999	95,2	0,511	47,8
2000	151,1	1,709	74,6

Anos	Acumulado	Desvio	Máximo Diário
2001	15,1	-1,207	11,0
2002	69,5	-0,041	24,3
2003	57,5	-0,298	17,5
2004	66,5	-0,105	17,5
2005	46,2	-0,540	18,7
2006	10,2	-1,312	5,8
2007	11,3	-1,289	7,4
2008	154,4	1,780	69,8
2009	176,3	2,250	50,6
2010	125,7	1,165	45,4
2011	39,7	-0,680	22,1
2012	171,1	2,138	61,9
2013	96,4	0,536	30,5
2014	96,1	0,530	90,0
2015	118,7	1,014	55,5
2016	114,4	0,922	30,0
2017	100,4	0,622	66,7
2018	40,4	-0,665	35,8
2019	56,2	-0,326	29,5
2020	30,3	-0,881	13,1

Quadro 1 – Dados de Precipitação

Desvio - é a divisão da diferença entre a quantidade total de ano e a média entre todos os anos por desvio padrão de todos os anos.



4. METODOLOGIA (NE. 5.2.-I.C.)

Neste estudo se detalha os caudais de drenagem de acordo com a **normativa espanhola 5.2. -I.C. de Drenagem Superficial**. Da mesma forma, junta-se toda a normativa portuguesa a efeitos de verificação

4.1. PERÍODO DE RETORNO ADOPTADO

Para a estimativa dos caudais de referência que servem de base ao dimensionamento dos distintos elementos de drenagem, a Instrução **5.2-I.C. "Drenagem Superficial"** recomenda adotar períodos de retorno não inferiores a:

- **Drenagem Transversal**: um valor não inferior ou igual a 100 anos ($T \geq 100$ anos).

No caso vertente, aplicaremos um **período de retorno de 500 anos** para a drenagem transversal, devido ao carácter torrencial das aguaceiras e à particularidade do arrasto de sólidos.

4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

No âmbito do estudo encontram-se várias bacias hidrográficas que afetam a estrada do projeto, como se pode observar no plano anexo.

Após o reconhecimento do traçado em estudo, foi identificado um total de dezoito (18) bacias hidrográficas.

A fim de calcular a capacidade de drenagem das obras existentes e o caudal das sub-bacias de absorção, o cálculo do caudal de drenagem das obras deve ser efetuado para um **período de retorno de T=500 anos**.

As bacias hidrográficas foram obtidas através do programa **QGis**, que permite uma definição das bacias hidrográficas de acordo com o terreno de estudo. Neste caso, partiu-se da Cartografia à escala 1:5.000 procedente do Instituto Nacional de Gestão do Território (INGT).

4.3. DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ZONA

Da análise realizada às medições de pluvimetria máximas diárias do INMG para a estação do aeroporto e da consulta aos organismos competentes, adotou-se uma **precipitação máxima diária** em cada bacia de **100 mm**.

4.4. TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO

A **Instrução 5.2-I.C. "Drenagem Superficial"** estabelece, para o caso de bacias onde predomine o fluxo canalizado por uma rede de canais definidos, uma fórmula para avaliar o tempo de concentração a partir do comprimento e declinação médio do canal principal.

No caso das bacias hidrográficas ligadas à drenagem transversal (bacias hidrográficas principais), admitimos que o escoamento se efetua principalmente em canais definidos, em seguida, é aplicável a expressão proposta pela instrução para a determinação do tempo de concentração a elas associado.

A equação a aplicar é a seguinte:

$$TC = 0,3L_C^{0,76} J_C^{-0,19}$$

Onde:

- T_C (horas): Tempo de Concentração;
- L_C (km): Longitude do Canal;
- J_C (adimensional): Inclinação média do canal;

A **instrução 5.2-I.C.** esclarece que, nas bacias hidrográficas principais de pequena dimensão, em que o tempo de percurso em fluxo difuso no terreno é apreciável em relação ao tempo de percurso total, devem aplicar-se as indicações fornecidas para as bacias hidrográficas secundárias. Considera que qualquer bacia hidrográfica em que se obtenha um tempo de concentração igual ou inferior a 0,25h deve ser aplicada a equação de fluxo difuso.

Para a **drenagem de margens e plataformas, bacias secundárias**, o tempo de concentração deve ser determinado, segundo a Instrução, dividindo o percurso do escoamento em troços de características homogéneas inferiores a trezentos metros de comprimento (300 m) e somando os tempos parciais obtidos.

Por sua vez, existem diferenças entre dois fluxos diferentes:

- Fluxo canalizado através de valas ou outros elementos de drenagem
- Fluxo difuso no terreno

$$t_{dif} = 2 \times L_{dif}^{0,408} \times n_{dif}^{0,312} \times J_{dif}^{-0,209}$$

Onde:

- t_{dif} (minutos): tempo de curso em fluxo difuso;
- n_{dif} (adimensional): coeficiente de fluxo difuso (tabela 2.1 da **instrução 5.2-I.C.**, no nosso caso 0,05);
- L_{dif} (m): longitude de caminho do fluxo;
- J_{dif} (adimensional): inclinação média.

Na tabela 2.2 da **instrução 5.2-I.C.**, inclui-se quando se utiliza o tempo de fluxo difuso, em que, se o tempo obtido for inferior a 5 minutos, se utilizam os 5 minutos, se o tempo de concentração do fluxo difuso estiver compreendido entre 5 e 40 minutos, deve ser utilizado o dado obtido e, no caso de este valor exceder 40 minutos, este valor deve ser escolhido, 40 minutos.

No Quadro 4, são incluídos os resultados do tempo de concentração para cada bacia.

4.5. INTENSIDADES MÉDIAS HORÁRIAS

A **Instrução 5.2-I.C. "Drenagem Superficial"** define a intensidade de precipitação $I(T, T_c)$ correspondente a um período de retorno T , e a uma duração do aguaceiro t , obtém-se por meio da fórmula seguinte, conforme estabelece a **Instrução 5.2. -I.C. "Drenagem Superficial"**:

$$I(T, t) = I_d \times F_{int}$$

Onde:

- **$I(T, t)$ (mm/s)**: Intensidade de precipitação correspondente a um período de retorno T e duração do aguaceiro t ;
- **I_d (mm/h)**: Intensidade média diária de precipitação corrigida para o período de retorno T ;
- **F_{int} (adimensional)**: fator de intensidade

A intensidade média diária de precipitação corrigida é obtida mediante a fórmula:

$$I_d = \frac{P_d \times K_A}{24}$$

Onde:

- **Id (mm/h)**: Intensidade média diária de precipitação corrigida para o período de retorno T;
- **Pd (mm)**: Precipitação diária do período de retorno T;
- **KA (adimensional)**: fator de redução da precipitação por área da bacia.
 - Se $A < 1 \text{ km}^2$ – $KA = 1$
 - Se $A > 1 \text{ km}^2$ – $KA = 1 - \frac{\log_{10} \times A}{15}$

Outro fator introduzido pela **Instrução 5.2. -I.C.**, é o fator de Intensidade F_{int} , que introduz a torrencialidade da chuva na área de estudo e depende da duração do aguaceiro e do período de retorno. Deve ser tomado como o valor mais elevado dos seguintes valores:

$$F_{int} = \max (F_a, F_b)$$

Onde:

- F_{int} (adimensional): Fator de Intensidade;
- F_a (adimensional): Fator obtido a partir do coeficiente de torrencialidade ($I1/I_d$);
- F_b (adimensional): Fator obtido a partir das curvas IDF de um pluviógrafo próximo

A obtenção de F_a dá-se pela seguinte expressão:

$$F_a = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,528 - 25287 t^{0,1}}$$

Onde:

- $I1/I_d$ (adimensional): coeficiente de torrencialidade que exprime a relação entre a intensidade de precipitação horária e a média diária corrigida, a partir do mapa da figura 2.4 da **Instrução 5.2. -I.C.** No caso de Cabo Verde, toma-se o valor de 9, tal como as ilhas Canárias orientais.
- t (horas): Duração da aguaceira ($t=tc$)

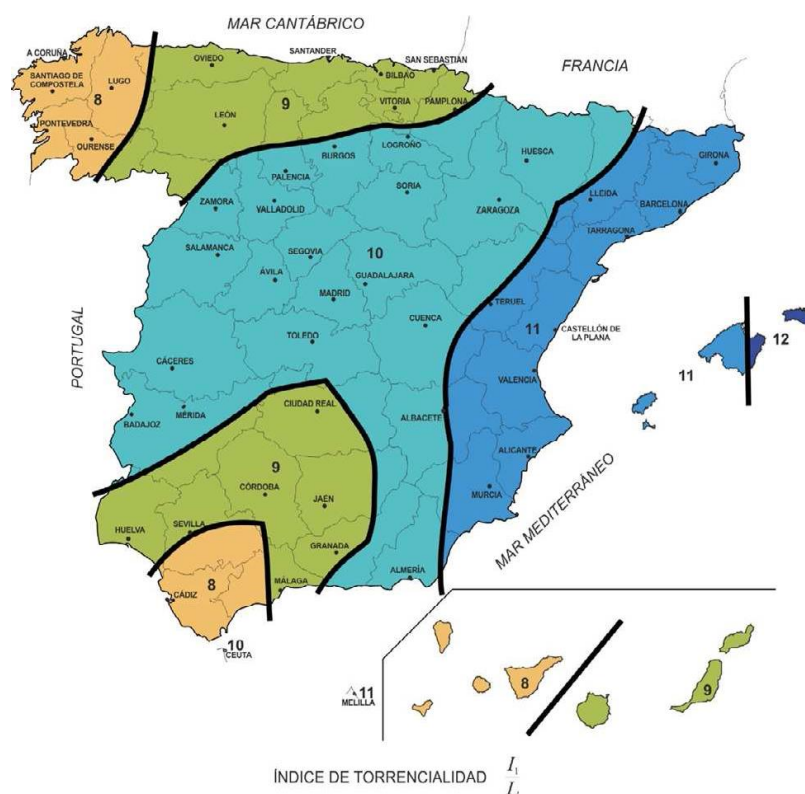


Figura 1. MAPA DO ÍNDICE DE TORRENCIALIDADE (I1/I0)

A obtenção de F_b dá-se pela seguinte expressão:

$$F_b = K_b \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)}$$

O valor do coeficiente F_b foi obtida através do cálculo das **curvas IDF** de cada bacia hidrográfica, em função da precipitação horária máxima (mm) e do tempo de concentração (h).

4.6. COEFICIENTES DE ESCOAMENTO

O coeficiente de escoamento C define a parte da precipitação de intensidade $I(T, T_c)$ que gera o caudal de avenida no ponto de escoamento da bacia. Obtém-se pela seguinte fórmula:

- Se $P_d \times K_A \leq P_o - C = 0$
- Se $P_d \times K_A > P_o - C = \frac{\left(\frac{P_d \times K_A}{P_o} - 1\right) \left(\frac{P_d \times K_A}{P_o} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \times K_A}{P_o} + 11\right)}$

Onde:

- **C (adimensional)**: coeficiente de escorrimento;

- **P_d (mm)**: Precipitação diária correspondente ao período de regresso T considerado;
- **K_A (adimensional)**: fator de redução da precipitação por área da bacia;
- **P_o (mm)**: limiar de escoamento.

O limiar de escoamento P_o, representa a precipitação mínima que deve cair sobre a bacia para se iniciar o escoamento, e é calculado como:

$$P_o = P_{oi} \times \beta$$

Onde:

- P_{oi} (mm): valor inicial do limiar de escoamento, determinado pela classificação do solo de acordo com as tabelas detalhadas na norma e a seguir indicadas;
- β (adimensional): coeficiente de correção do parâmetro de escoamento.

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D.

Figura 2 - Grupos hidrológicos do solo para a determinação do valor inicial do parâmetro de escoamento

Devido ao tipo de unidades geológicas predominantes na bacia, opta-se por utilizar o **grupo hidrológico C**.

A instrução vigente apresenta no seu conteúdo duas fórmulas para corrigir o parâmetro de escoamento, em função da tipologia da obra de drenagem, distinguindo entre drenagem transversal de vias de serviço, ramais, caminhos, acessos, drenagem de plataforma e margens; e drenagem transversal da estrada (pontes e obras de drenagem transversal).

Para o segundo caso aplicaremos a seguinte fórmula:

$$\beta^{DT} = (\beta_m - \Delta_{50}) \times F_T$$

PROJETO DE EXECUÇÃO PARA REABILITAÇÃO E MELHORIA DA ESTRADA NACIONAL “EN1-SL-01-ESPARGOS-SANTA MARIA”

Onde:

- β_m : Valor médio na região do coeficiente de correção do parâmetro de escoamento;
- F_T : Fator função do período de retorno T;
- Δ_{50} : Desvio em relação ao valor médio: intervalo de confiança correspondente a 50%

Dentro das regiões consideradas pela regulamentação para a caracterização do coeficiente de correção do limiar de escoamento, não se encontra Cabo Verde. Portanto, dadas as semelhanças da nossa área geográfica com a área 61 do mapa, correspondente à zona sul peninsular e a Ceuta - Melilha, adotaremos para os cálculos que seguem no documento os seguintes valores:

$$\beta_m = 2,00; \Delta_{50} = 0,25; F_T(500 \text{ anos}) = 1,17$$

REGIÃO	VALOR MÉDIO B_m	Desvio em relação ao valor médio para o intervalo de confiança:	PERÍODO DE RETORNO (ANOS) F_T		
		50%	25	100	500
11	0.90	0.20	1.13	1.34	1.59
12	0.95	0.20	1.14	1.33	1.56
13	0.60	0.15	1.15	1.34	1.55
21	1.20	0.20	1.18	1.47	1.90
22	1.50	0.15	1.12	1.27	1.37
23	0.7	0.20	1.15	1.44	1.82
24	1.10	0.15	1.14	1.36	1.63
25	0.60	0.15	1.12	1.29	1.48
31	0.90	0.20	1.10	1.26	1.45
32	1.00	0.20	1.12	1.31	1.54
33	2.15	0.25	1.15	1.38	1.62
41	1.20	0.20	1.00	1.00	1.00
42	2.25	0.20	1.18	1.46	1.78
511	2.15	0.10	1.12	1.30	1.50
512	0.70	0.20	1.00	1.00	1.00
52	0.95	0.20	1.09	1.46	1.36
53	2.10	0.25	1.16	1.38	1.56
61	2.00	0.25	1.10	1.18	1.17
71	1.20	0.15	1.00	1.00	1.00
72	2.10	0.30	1.00	-	-

PROJETO DE EXECUÇÃO PARA REABILITAÇÃO E MELHORIA DA ESTRADA NACIONAL “EN1-SL-01-ESPARGOS-SANTA MARIA”

REGIÃO	VALOR MÉDIO Bm	Desvio em relação ao valor médio para o intervalo de confiança:	PERIODO DE RETORNO (ANOS) F_T		
		50%	25	100	500
81	1.30	0.25	1.14	1.34	1.58
821	1.30	0.35	1.07	-	-
822	2.40	0.25	1.16	-	-
83	2.30	0.15	1.21	1.51	1.85
91	0.85	0.15	1.19	1.52	1.95
92	1.45	0.30	1.00	1.00	1.00
93	1.70	0.20	1.00	1.00	1.00
941	1.80	0.15	1.17	1.39	1.64
942	1.20	0.15	1.11	1.24	1.32
951	1.70	0.30	1.17	1.43	1.78
952	0.85	0.15	1.13	1.32	1.54
101	1.75	0.30	1.12	1.27	1.39
1021	1.45	0.15	1.00	1.00	1.00
1022	2.05	0.15	1.00	1.00	1.00

Quadro 2 - Coeficiente de correção do limiar de escoamento

De acordo com o seguinte parâmetro de escurência normal, toma-se um valor de referência de $P_0 = 12$.

Tecido urbano contínuo (11100)	Cultivos herbáceos em regadio (21210)	Bosque mixto (31300)	rbustos subarbustivos ou arbustivos muito pouco densos (32312)	Espaços com vegetação escassa (33300)
1	14	31	14	8

Quadro 3 - Coeficientes de escoamento

Sendo assim, pela fórmula apresentado inicialmente, é determinado os coeficientes de escoamento.

4.7. COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO

O coeficiente K_t tem em conta a falta de uniformidade na distribuição temporal da precipitação e é obtido por:

$$K_t = 1 + \frac{tc^{1,25}}{tc^{1,25} + 14}$$

Onde:

- **Kt (adimensional)**: coeficiente de uniformidade na distribuição temporal da precipitação.
- **tc (horas)**: tempo de concentração da bacia hidrográfica.

4.8. CAUDAIS DE DRENAGEM

Aplicando a fórmula da **Instrução 5.2. - I.C Drenagem**. O caudal de referência obtido para a bacia de estudo, com base no período de regresso de 500 anos, no caso de obras de drenagem transversal, é descrito em pormenor.

Segundo o método racional, o caudal máximo anual Q_t , corresponde a um período de retorno T , é calculado através da fórmula:

$$Q_t = \frac{I(T, tc) \times C \times A \times K_t}{3,6}$$

Onde:

- Q_t (m³ /s): Caudal máximo anual correspondente a um período de retorno T , no ponto de drenagem da bacia.
- $I(T,tc)$ (mm/h): Intensidade média diária de precipitação para o período de regresso.
- C (adimensional): coeficiente de escoamento médio.
- A (km²): área da bacia ou superfície considerada.
- K_t (adimensional): coeficiente de uniformidade na distribuição temporal da precipitação.

Os resultados obtidos para cada bacia hidrográfica são os apresentados no quadro que se segue.

PROJETO DE EXECUÇÃO PARA REABILITAÇÃO E MELHORIA DA ESTRADA NACIONAL “EN1-SL-01-ESPARGOS-SANTA MARIA”

	Característica bacia hidrográfica					Pluviometria		Coeficiente de escoamento					Tempo de concentração (h)						Intensidade de precipitação (mm/h)						Caudal					
	Nome	L (km)	Cota máx (m)	Cota mín (m)	Pendente média (n/m)	Area (m ²)	Pd (mm)	P'o	BDT	Po	Norma	C	tc (h)	Cuenca ppa	Cuenca sec	ndif	Ldif	tc(dif)	A (km ²)	Ka	Id (mm/h)	I1/Id	Fint	Fa	Fb	I (mm/h)	Kt	Q* (m ³ /s)	20% arraste	Q (m ³ /s)
500 anos	C-01	0,59	32,60	12,70	0,03	122 362,44	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,38	0,38	28,36	0,12	591,95	0,47	0,12	1,00	4,17	9,00	17,40	14,95	17,40	72,52	1,02	0,92	1,20	1,10
	C-02	0,21	30,90	26,70	0,02	29 920,16	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,34	0,19	20,65	0,12	209,00	0,34	0,03	1,00	4,17	9,00	18,21	15,79	18,21	75,86	1,02	0,23	1,20	0,28
	C-03	0,27	24,70	17,20	0,03	65 981,70	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,35	0,22	21,18	0,12	265,00	0,35	0,07	1,00	4,17	9,00	18,20	15,59	18,20	75,84	1,02	0,52	1,20	0,62
	C-04	5,90	30,70	0,90	0,01	6 144 211,84	100	12,00	2,05	24,60	0,35	0,35	3,16	3,16	107,70	0,12	5 899,22	0,67	6,14	0,95	3,95	9,00	5,40	4,57	5,40	21,32	1,23	15,55	1,20	18,66
	C-05	1,06	98,00	1,00	0,02	497 009,54	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,66	0,66	40,10	0,12	1 060,00	0,67	0,50	1,00	4,17	9,00	13,96	11,29	13,96	58,16	1,04	3,05	1,20	3,67
	C-06	0,40	8,20	1,90	0,02	108 962,87	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,33	0,33	28,32	0,12	400,00	0,47	0,11	1,00	4,17	9,00	19,27	16,15	19,27	80,31	1,02	0,90	1,20	1,08
	C-07	4,73	58,30	0,60	0,01	7 004 997,52	100	12,00	2,05	24,60	0,35	0,35	2,26	2,26	81,84	0,12	4 728,60	0,67	7,00	0,94	3,93	9,00	6,44	5,62	6,44	25,31	1,16	19,84	1,20	23,81
	C-08	0,50	12,00	1,60	0,02	212 117,94	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,37	0,37	29,11	0,12	495,51	0,49	0,21	1,00	4,17	9,00	18,80	15,30	18,80	78,34	1,02	1,72	1,20	2,06
	C-09	1,37	18,80	2,90	0,01	601 010,07	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,89	0,89	49,89	0,12	1 370,29	0,67	0,60	1,00	4,17	9,00	12,17	9,61	12,17	50,73	1,06	3,28	1,20	3,93
	C-10	0,55	13,90	2,40	0,02	136 224,41	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,40	0,40	30,55	0,12	554,37	0,51	0,14	1,00	4,17	9,00	18,44	14,64	18,44	76,82	1,02	1,09	1,20	1,30
	C-11	4,41	59,60	1,60	0,01	7 461 867,71	100	12,00	2,05	24,60	0,35	0,35	2,11	2,11	78,28	0,12	4 407,91	0,67	7,46	0,94	3,92	9,00	6,84	5,85	6,84	26,84	1,15	22,15	1,20	26,58
	C-12	3,95	65,60	0,00	0,02	4 384 783,00	100	12,00	2,05	24,60	0,35	0,35	1,86	1,86	71,33	0,12	3 952,16	0,67	4,38	0,96	3,99	9,00	7,57	6,31	7,57	30,21	1,13	14,63	1,20	17,55
	C-13	3,58	61,40	3,90	0,02	1 622 337,73	100	12,00	2,05	24,60	0,36	0,36	1,74	1,74	69,01	0,12	3 583,00	0,67	1,62	0,99	4,11	9,00	8,14	6,57	8,14	33,45	1,12	6,11	1,20	7,34
	C-14	1,40	54,40	27,40	0,02	456 309,00	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,82	0,82	45,29	0,12	1 401,19	0,67	0,46	1,00	4,17	9,00	13,41	10,03	13,41	55,88	1,05	2,73	1,20	3,27
	C-15	0,19	60,70	47,10	0,03	20 783,66	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,30	0,16	18,07	0,12	185,00	0,30	0,02	1,00	4,17	9,00	21,71	16,87	21,71	90,45	1,02	0,19	1,20	0,23
	C-16	0,22	60,70	47,80	0,04	17 009,57	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,30	0,17	18,09	0,12	215,00	0,30	0,02	1,00	4,17	9,00	21,89	16,86	21,89	91,20	1,02	0,16	1,20	0,19
	C-17	0,45	60,70	47,90	0,02	167 014,37	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,34	0,34	28,24	0,12	449,00	0,47	0,17	1,00	4,17	9,00	20,93	15,81	20,93	87,22	1,02	1,51	1,20	1,81
	C-18	0,20	55,30	47,80	0,04	14 597,09	100	12,00	2,05	24,60	0,37	0,37	0,30	0,16	17,81	0,12	200,00	0,30	0,01	1,00	4,17	9,00	22,41	16,99	22,41	93,39	1,02	0,14	1,20	0,17

Quadro 4 – Caudal das Bacias Hidrográficas

5. ELEMENTOS DE DRENAGEM

O presente anexo tem por objeto a definição, desenvolvimento do cálculo e dimensionamento dos sistemas de drenagem que serão necessário dispor na estrada.

Para o efeito, são descritos, **dimensionados e verificados** os seguintes tipos de drenagem necessários para a evacuação de água:

- A **drenagem superficial da plataforma e margens**, formada pelas valetas, caixas, tubulações e outras obras de drenagens, que recolhem a água proveniente do escoamento que circula sobre a superfície da plataforma e sobre os taludes de terraplenagens a qual encaminham para as obras de drenagem transversal.
- A **drenagem transversal**, cujo objetivo é restituir a continuidade da rede de drenagem natural do terreno e encaminhar a drenagem da plataforma e as suas margens para os leitos naturais ou artificiais que correm na zona.

No presente anexo, será realizado o cálculo e a justificação dos elementos de drenagem dispostos.

Para o dimensionamento e cálculo do sistema de drenagem implantado no projeto foi considerada a seguinte normativa:

- **Instrução 5.2-I. C** sobre drenagem superficial da Instrução de Estradas aprovada pela Ordem FOM/298/2016, de 15 de fevereiro de 2016.

Os Caudais foram calculados nas seções anteriores

6. DRENAGEM LONGITUDINAL

Nessa seção será apresentada as soluções propostas para a drenagem de plataforma e margens que recolherão a água proveniente do escoamento que circula na superfície adjacente

6.1. BASE DE DESENHO

Para o desenho dos elementos e para os cálculos hidráulicos correspondentes foi considerada a **Instrução 5.2-IC de Drenagem**.

Os critérios de verificação adotados são os seguintes:

- **Comprovação do caudal**

Para avaliar a capacidade de drenagem dos elementos lineares da drenagem longitudinal (borda da calçada, valas, coletores, etc.), em que a perda de energia se deve principalmente ao atrito com as paredes do leito ou conduta, aplica-se a fórmula de Manning-Strickler descrito no parágrafo seguinte.

Considera-se "**ADEQUADA**" a verificação quando o caudal de entrada é inferior ou igual à capacidade de drenagem, "**ADMISSÍVEL**" quando é superior a esta e inferior ou igual a 1,20 vezes a mesma, e "**INADEQUADA**" quando a entrada for superior a 1,20 vezes a capacidade de drenagem.

$$Q_{CH} = \frac{J^{1/2} \times R_H^{2/3} \times S_{Max}}{n} \geq Q_P$$

Onde:

- QCH (m³/s): capacidade hidráulica do elemento de drenagem. Caudal em regime livre uniforme, em escoamento livre, para a secção cheia, calculado igualando as perdas de carga por atrito com as paredes e o fundo da conduta ao declive longitudinal;
- J (m/m): declive geométrico do elemento linear;
- S_{máx} (m²): área da secção transversal da conduta;
- R_H (m): raio hidráulico;
- n (s/m^{1/3}): coeficiente de rugosidade de Manning, dependente do tipo de material do elemento linear;
- QP (m³/s): caudal de projeto do elemento de drenagem.

• Comprovação da velocidade

Tem-se "**VELOCIDADE REDUZIDA**" quando a velocidade é inferior a 0,5 m/s, limite fixado para evitar a sedimentação de sólidos transportados, "**ADEQUADA**" quando é igual ou superior a 0,5 m/s ou inferior ou igual a 6,00 m/s, e "**VELOCIDADE EXCESSIVA**" se a velocidade for superior a 6,00 m/s.

$$V_P = \frac{Q_P}{S_P} \leq V_{Max}$$

Onde:

- VP (m/s): velocidade média da corrente para o caudal de projeto;
- QP (m³/s): Caudal de projeto do elemento de drenagem;
- SP (m²): área da secção transversal ocupada pela corrente para o caudal de projeto;
- V_{max} (m/s): velocidade máxima admissível no elemento de drenagem transversal.

- **Comprovação da profundidade**

Conforme estabelece a **Instrução 5.2-I.C. "Drenagem Superficial"**, o máximo nível da lâmina de água, ou resguardo livre existente até a plataforma, para uma obra de drenagem longitudinal, como as valetas, a instrução impõe que deve existir um resguardo mínimo de 0,05 metros (5 cm) ou, se for caso disso, a condição de a lâmina de água não atingir a berma.

No caso de secções circulares em funcionamento em lamina livre, deve verificar-se se, com o caudal máximo de escoamento, a relação entre a superfície molhada e a totalidade dos coletores não excede 80% no caso das águas pluviais.

Convém mencionar que a verificação deve ser efetuada em frações em que o caudal, a inclinação e a geometria e materiais da secção se mantêm constantes.

Por sua vez, foram estabelecidos os seguintes coeficientes de Manning:

- Coletores de PVC $n = 1/K = 0,009$
- Valetas $n = 1/K = 0,012$

7. DRENAGEM TRANVERSAL

Os critérios de comprovação adotados são os seguintes:

- **Comprovação de resguardo**

De acordo com a seção 4.2.2. "Nível de Água", o nível máximo do lençol d'água deve manter, em relação à superfície da plataforma, um resguardo não inferior a 0,05 m, para levar em conta a possibilidade de interrupção da operação da estrada devido à nível da corrente de água.

Portanto, esta verificação é considerada "**ADEQUADA**" quando a elevação do lençol freático produzida pela obra de drenagem satisfaz a condição exposta e "**INADEQUADA**" quando não atende a limitação anterior.

- **Comprovação do caudal**

Considera-se "**ADEQUADA**" a comprovação quando o caudal de entrada é inferior ou igual à capacidade de drenagem, "**ADMISSÍVEL**" quando é superior a esta e inferior ou igual a

1,20 vezes a mesma, e **"INADEQUADA"** quando a entrada for superior a 1,20 vezes a capacidade de drenagem.

- **Comprovação da velocidade**

Tem-se **"VELOCIDADE REDUZIDA"** quando a velocidade é inferior a 0,5 m/s, limite fixado para evitar a sedimentação de sólidos transportados, **"ADEQUADA"** quando é igual ou superior a 0,5 m/s ou inferior ou igual a 4,50 m/s para rochas duras (obras de drenagem transversal com soleira não revestida) ou 6,00 m/s para obras de betão, e **"VELOCIDADE EXCESSIVA"** se a velocidade ultrapassar os limites máximos anteriores.

7.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO

O regime hidráulico das obras de drenagem transversal foi estudado a partir do cumprimento da equação da energia simplificada:

$$Z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 * V_1^2}{2 * g} = Z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 * V_2^2}{2 * g} = Z_3 + h_3 + \frac{\alpha_3 * V_3^2}{2 * g}$$

Onde os estados 1 e 3 representam o funcionamento hidráulico a montante e a jusante da obra.

A compatibilização das diferentes condições de funcionamento hidráulico a montante e a jusante da obra apresenta dois possíveis locais da secção de controlo (na qual é possível estabelecer uma relação biunívoca entre o caudal drenado e a cota que alcança a lâmina de água), de acordo com a Instrução 5.2-I.C. "Drenagem Superficial":

- **Controlar a entrada (embocadura)**
- **Controlar a Saída (desembocadura)**

Ao critério acima se une o cumprimento das condições incluídas na Instrução comentada para assegurar um funcionamento hidráulico com controle à entrada, que é considerado mais favorável, na medida em que a aplicação de níveis da lâmina de água à entrada do conduto menores e, além disso, a alteração das condições a jusante não afetará o estado de funcionamento da obra de drenagem, ou seja, as perturbações não devem propagar-se para cima.

Para determinar a capacidade de drenagem de canais, admitindo-os razoavelmente uniformes, e obras de drenagem transversal, ou seja, estabelecer a correlação entre o nível da água e o caudal desaguado, aplica-se a fórmula de Manning-Strickler, dada pela expressão:

$$Q = V * S = K * \sqrt{J} * R^{\frac{2}{3}} * S$$

Onde:

- Q: Vazão drenada (m³/s).
- V: Velocidade média da corrente (m/s).
- S: Seção de drenagem (m²).
- R: Raio hidráulico (m).
- P: perímetro húmido (m).
- J: Inclinação da linha de energia (m). Quando o regime puder ser considerado uniforme, será tomado igual à inclinação longitudinal da obra ou elemento de drenagem, ou à inclinação média do canal, conforme o caso.
- K: Coeficiente de rugosidade Manning

Em anexo é enviado os cálculos realizados para as obras de drenagem transversais e longitudinais

COMPROBACIÓN DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL EXISTENTES

PH	Cuenca	PK	Q _a (m ³ /s)	TIPO DE OBRA	L (m)	J (%)	N	B (m)	D o H (m)	S _m (m ²)	P _m (m)	R _n (m)	n Manning	Q _d (m ³ /s)	y (m)	V (m/s)	ADEQUAÇÃO À INSTRUÇÃO 5.2-I.C."Drenagem Superficial"		
																	COMPROVAÇÃO RESGUARDO	COMPROVAÇÃO CAUDAL	COMPROVAÇÃO VELOCIDADE
PH-01	C-01	0+047.91	1,10	Tubo PVC	33,65	0,5	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	2,26	0,48	3,04	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-02	C-02	3+225.80	0,28	Tubo PVC	72,35	0,5	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	2,26	0,23	2,08	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-03	C-03	3+646.16	0,62	Tubo PVC	83,93	0,5	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	2,26	0,35	2,62	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-04	C-04	4+831.33	18,66	Marco Betão	34,42	0,5	2	4	1,00	4,00	6,00	0,67	0,012	35,97	0,65	3,67	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-05	C-05	5+070.18	3,67	Tubo PVC	35,19	0,5	2	-	0,97	1,48	6,09	0,24	0,009	9,03	0,46	2,99	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-06	C-06	5+331.75	1,08	Tubo PVC	35,46	0,5	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	2,26	0,47	3,01	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-07	C-07	5+565.59	23,81	Marco Betão	36,90	0,5	2	4	1,00	4,00	6,00	0,67	0,012	35,97	0,75	3,93	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-08	C-08	5+730.17	1,03	Tubo PVC	36,29	0,5	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	2,26	0,46	2,99	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-09	C-08	6+204.29	1,03	Tubo PVC	35,51	1,6	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	4,09	0,33	4,59	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-10	C-09	6+522.65	3,93	Tubo PVC	35,09	1,9	2	-	0,97	1,48	6,09	0,24	0,009	17,60	0,47	5,82	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-11	C-10	6+697.00	1,30	Tubo PVC	35,53	2,1	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	4,63	0,35	5,36	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-12	C-11	7+000	26,58	Marco Betão	34,78	0,5	2	4	1,00	4,00	6,00	0,67	0,012	35,97	0,82	4,11	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-13	C-12	7+260.17	17,55	Marco Betão	35,06	1,5	2	4	1,00	4,00	6,00	0,67	0,012	62,31	0,43	5,11	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-14	C-13	7+992.10	7,34	Tubo PVC	36,11	0,5	3	-	0,97	2,22	9,14	0,24	0,009	20,32	0,36	5,44	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-15	C-14	10+059.25	3,27	Tubo PVC	38,93	1,8	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	4,28	0,19	4,55	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-16	C-15+C-16	12+866.64	0,42	Tubo PVC	74,12	3,0	1	-	0,97	0,74	3,05	0,24	0,009	5,53	0,18	4,40	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA
PH-17	C-17	12+960	1,81	Tubo PVC	33,33	3,9	2	-	0,97	1,48	6,09	0,24	0,009	25,22	0,24	5,94	ADECUADA	ADECUADA	ADECUADA

Notas:

Qd: Caudal de drenagem das bacias hidrográficas; Ql: Caudal proveniente de obras de drenagem longitudinal; Qa: Caudal de entrada; L: Longitude da obra; J: Declive; N: Número de condutas; B: Largura livre; D: Diâmetro, no caso de secções circulares; H: Altura livre da secção equivalente; S_m: Área da secção de capacidade hidráulica máxima (cheia em secções retangulares e com um ângulo da corda definida pela lâmina livre com o centro de 60° para secções circulares); P_m: Perímetro molhado na secção de capacidade hidráulica máxima; R_n: Raio hidráulico; n: Coeficiente de rugosidade de Manning; n: Coeficiente de rugosidade de Manning; Q_d: Capacidade de escoamento; y: Difusão; V: Velocidade obtenida pela fórmula de Manning-Strickler.